	もり　よしひろ
氏　　名	森　禎弘
学位(専攻分野)	博　　士（工学）
学位記番号	博乙第　１１１　号
学位授与の日付	平成14年11月27日
学位授与の要件	学位規程第３条第４項該当
学位論文題目	共通リヤプノフ関数問題の検討：完全解決に向けて (主査)
審査委員	教　授　森　武宏 教　授　三宮　信夫 教　授　大住　晃 助教授　黒江　康明

論文内容の要旨

共通リヤプノフ関数問題とは、与えられた一連の線形時不変システムがどのような条件のもとで共通のリヤプノフ関数を少なくとも一つ持つかを問う問題である。この問題は、ロバスト安定問題あるいはファジィ制御系や切り替え制御系の解析など様々な制御システムの解析や設計に現れ、もし解決されればそれらに大きく寄与する基本的な理論課題と目される。数値的には当該リヤプノフ関数の存否を確かめることは困難ではなく、既存のＬＭＩ（線形行列不等式）ソフトウェアを用いれば答えは得られる。しかし、関数の存在条件を解析的に求めることはいたって難しく、現在までにこれが可能として知られているのはシステムの次数が２以下の場合に過ぎない。この意味で問題の完全な解決はなされておらず、困難な未解決問題として残されている。本論文は改めてこの課題に取り組んだものである。解決に向けての基本的方針としてリヤプノフ関数存在の必要十分条件に出来うる限り“近い”十分条件を、出来うる限り多く見いだそうとしている。この方針に沿って、本論文では通常の二次形式リヤプノフ関数とその他に無限大ノルム形式の関数も考慮に入れている。また扱うシステムとして連続時間システムとｚ演算子システム以外にデルタ演算子システムを加えている。このシステムは前二者を結ぶものとして十分条件間の対応関係を考える際に力を発揮する。論文では、この結果多くの十分条件が得られており、それらの包含関係や並行性が吟味されている。

本論文は８つの章より成っている。第１章は問題の概要、解決に向けての方針、論文の構成について述べている。第２章では従来の研究を概観するとともに共通リヤプノフ関数問題が出現する各種の制御問題を列挙している。ロバスト制御における二次安定性、ファジィ制御システムの安定性、切り換え制御系の安定問題、行列ルートクラスタリングがそれらである。具体的な数式による問題の定式化は第３章で行われている。連続時間線形システム、ｚ演算子システム及びデルタ演算子システムの三つのシステム表現が取り挙げられ、各々に二次形式リヤプノフ関数と無限大ノルムリヤプノフ関数が定義され、共通リヤプノフ関数問題の定式化がなされている。第４章及び第５章では各々連続時間システム、ｚ演算子システムを対象として、共通リヤプノフ関数の存在条件自身の満たす基本的性質が明らかにされ、さらに関数の存在のための一連の十分条件が導かれている。残るデルタ演算子システムに対する同様の検討は第６章でなされている。このシステムでは、サンプリング周期がパラメータ

となり、これに対する共通リヤプノフ関数集合の包含関係の単純性が示されている。第７章は第４章から第６章迄に得られた多くの十分条件を集約する部分である。双一次変換やデルタ演算子システムを経由してそれらの間の並行性や包含関係が明らかにされており、二次形式リヤプノフ関数に関しては基本方針が目標とした最強の十分条件が示されている。この意味で、当初の意図は貫かれているといってよい。終章、第８章は以上の結果の総括と残された課題を述べている。

論文審査の結果の要旨

本論文で取り挙げた課題と研究方法はまず幾つかの点でユニークである。一つは、ここで取り挙げられているのは多くの研究者が競って成果を争ういわば現今の熱い課題ではなく、恐らくその困難さ故にごく僅かの人々しか目を向けない問題であることである。それにも拘らず、もし完全な解決をみればその与える影響は決して小さくはない。第二の点は、現今の制御理論が主に単一のシステムを対象に構築されているのに対し、共通リヤプノフ関数問題は可算有限個のシステムが共有する性質を対象にしていることである。これは既存の理論の一つの発展方向を示唆していると思われる。第三は課題の困難さを打開するためにとられた戦略である。与えられたシステム集合がリヤプノフ関数を共有するための必要十分条件を得ることが最終目標であるが、これを流麗な形で求めることは至って困難である。そのために申請者は必要十分条件に出来るだけ“近い”十分条件を漸進的にでも求めてゆこうと試みた。それを保証するために通常の連続時間システムの他に、ｚ演算子システム、デルタ演算子システムの二つのシステム表現に対しても共通リヤプノフ関数問題を考え、各々に多くの十分条件を導いた。また、二次形式リヤプノフ関数のみならず無限大ノルムリヤプノフ関数に関しても十分条件を導いている。これらの十分条件間の相互関係、並行性などを利用して出来得る限り多様な条件を得て、最後に包含関係を吟味して最も強力な十分条件を求めようという目論見である。幸い二次形式リヤプノフ関数に対してこの戦略は功を奏してほぼ所期の結果を得ている。依然、各所に未解決の問題が散見され、完全解決への道のりはなお遠いものの、本論文で示された結果は、

１．多様な視点からの完全解決に向けた礎石を築いた。

２．得られた多くの十分条件は各々に個性、特徴があり、それ自身システム解析・設計に用いることができる。

の如き点で十分批判に耐え意義のあるものであり、この問題に関する業績として永く記録に留められるものである。以上より、本論文は学位論文にふさわしい内容をもつと認められる。なお、論文内容は主に下記の１０篇の論文を基に構成されたものであり、一篇を除き、すべて申請者が筆頭著者となっている。

本学位論文の基礎となった発表論文

1. Yoshihiro Mori, Takehiro Mori and Yasuaki Kuroe：Some new subclasses of systems having a common quadratic Lyapunov function and comparison of known subclasses; Proceedings of the 40th Conference on Decision and Control, pp.2179-2180(2001)

2. Yoshihiro Mori, Takehiro Mori and Yasuaki Kuroe : A set of discrete-time linear systems with has a common Lyapunov function and its extension ; Proceedings of the 1998 American Control Conference, pp.2905-2906(1998)
3. Yoshihiro Mori, Takehiro Mori and Yasuaki Kuroe : On a class of linear constant systems which have a common quadratic Lyapunov function ; Proceedings of 37th Conference on Decision and Control, pp.2808-2809(1998)
4. Yoshihiro Mori, Takehiro Mori and Yasuaki Kuroe : A solution to the common Lyapunov function problem for continuous-time systems ; Proceedings of 36th Conference on Decision and Control, pp.3530-3531(1997)
5. Yoshihiro Mori, Takehiro Mori and Yasuaki Kuroe : A Partial Solution to the Common Lyapunov Function Problem : Continuous-Time Case ; Proceedings of The Fourth International Conference on Control, Automation, Robotics and Vision, pp.1064-1068(1996)
6. Yoshihiro Mori, Takehiro Mori and Yasuaki Kuroe: Classes of discrete linear systems having common quadratic Lyapunov functions ; Proceedings of the 1995 American Control Conference, pp.3364-3365(1995)
7. Takehiro Mori, Yoshihiro Mori and Hideki Kokame : Common Lyapunov function approach to matrix root clustering ; Systems & Control Letters, Vol.44, No. 1, pp.73-78(2001)
8. 森　禎弘、森　武宏、黒江　康明：共通リヤプノフ関数を持つシステムサブクラス間の関係について；システム制御情報学会論文誌、第１４巻10号、pp.511-513(2001)
9. 森　禎弘、森　武宏、黒江　康明：共通リヤプノフ関数を持つ連続時間線形システムのクラス-同時三角化可能な係数行列を持つシステム；システム制御情報学会論文誌、第11巻５号、pp.262-266 (1998)
10. 森　禎弘、森　武宏、黒江　康明：不確かな離散時間線形システムの二次安定性と安定化；電気学会論文誌、第115-Ｃ巻11号、pp.1291-1296 (1995)